Über die tektonischen Begriffe von Totfaltung,

Ausschaltung und Verschleppung toter Falten, Herstellung von Falten aus frischem Schichtmaterial

Von

Otto Ampferer
korr. Mitglied d. Akad. d. Wiss.

(Mit 4 Textfiguren)

(Vorgelegt in der Sitzung am 17. Februar 1938)

(Die Drucklegung erfolgt mit den Mitteln der Dr. Emil Sueß-Erbschaft)

In der Akademiearbeit über die „Gleitformung der Glarner Alpen — Sitzungsberichte 1934 — mathem.-naturw. Klasse, Abt. I, 143 B., 3. bis 4. Heft, Seite 116 bis 117" wurde von mir bereits auf einen Teil dieser Begriffe hingewiesen.

Es ist nun meine Absicht, im Folgenden die Entstehung und Abgrenzung solcher Strukturen hier noch eingehender zu begründen.

Man kann im Verlaufe der Faltenbildung unschwer einen lebendigen Vorgang erblicken, dem wie allem Lebendigen Erschöpfung und Tod das natürliche Ende bereiten.

Funktionen der Faltung können z. B. derartig einseitig übertrieben werden, daß sie endlich nicht mehr ausgeübt werden können. Geht die Faltenbildung weiter, so müssen solche erstarrte Glieder ausgeschaltet und durch neue Bewegungsformen ersetzt werden.

Anderseits zeigt es sich, daß die schwungvollen, oft an der Front von Decken auftauchenden Stirnfalten Gebilde vorstellen, die nur aus frischem Schichtmaterial in glatter Vollendung herstellbar sind.

Auch diese Erfahrung kann, wie im Folgenden zu zeigen ist, zu weiteren tektonischen Forschungen über die Abstammung und Wanderung von Schub- und Gleitdecken verwendet werden. Der natürliche Ausgang für diese tektonischen Untersuchungen ist die Ausbildung von einseitig übertriebenen Faltformen. (Fig. 1).

Albert Heim hat sich besonders eingehend mit der Bildung von einseitigen Falten beschäftigt und vor allem die Verdickung der Bugstellen und die damit gleichlaufende Verdünnung der Mittelschenkel klar beleuchtet. Die durch die Faltung eingeleitete Materialverschiebung aus den Mittelschenkeln gegen die Bugstellen bleibt aber immer streng auf den Bereich der Einzelfalten beschränkt. Der Fall, daß eine größere liegende Falte aus der Vereinigung mehrerer benachbarter kleinerer Falten hervorgeht, ist nicht verwirklicht.

Wenn sich die Heftigkeit des faltenbildenden Schubes steigert, so werden im Gegenteil die verdünnten Mittelschenkel zerrissen und zu Gleitbahnen umgeschliffen, an denen dann die weiteren Verschiebungen erfolgen. Fig. 2.

Dieser Vorgang zeigt uns klar, daß die einzelnen kleinen Falten durch die Verdickung der Gelenke ihre weitere Biegsamkeit eingebüßt haben und dadurch für die Fortbildung ihrer Formen unbrauchbar geworden sind. Im Gegensatz dazu sind die verdünnten Mittelschenkel für eine weitere Streckung bestens vorbereitet.

Es lösen sich daher die übermäßig verdickten und verdünnten Glieder der Einzelfalten voneinander ab und schlagen bei der weiteren Umformung ihre eigenen Wege ein. Die ausgedünnten Mittelschenkel verbinden sich zu einem Geflecht von Gleitbahnen, zwischen

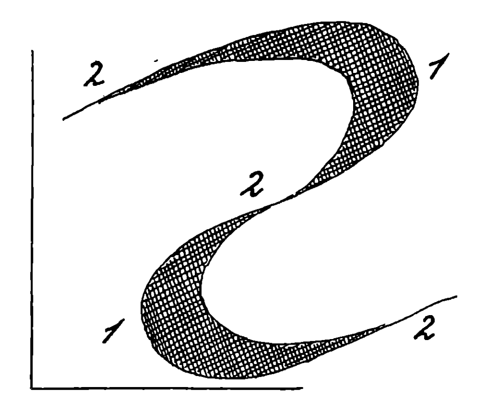


Fig. 1.

1 = Stark verdickte und daher nicht mehr weiter biegfähige Gelenke.
2 = Stark verdünnte und daher nicht mehr haltbare Mittelschenkel.

denen die auseinandergetriebenen verdickten Bugglieder liegen. Diese letzteren können bei dieser Umformung sogar Abschleifungen und Abrundungen ihrer Formen erleiden. Wir erkennen somit, daß die extreme Ausbildung von einseitigen Faltformen unbedingt die ganze Lebensweise derselben verändert.

Die verdickten Bugstellen verlieren die Fähigkeit zu weiterer Biegung und die verdünnten Mittelschenkel die Fähigkeit, den Zusammenhalt der Falten zu bewahren. Auf diese Weise zerfallen die strengen Bindungen der Ausgangsformen und neue, leichter bewegliche Gruppierungen stellen sich ein.

Die ausgedünnten Mittelschenkel schließen sich zu Bahngeflechten zusammen. Die dicken Bugglieder werden von denselben umflossen ähnlich wie größere Quarz- oder Feldspatkristalle von einem Glimmergleitwerk. Die Bugstellen wachsen nicht mehr weiter, sondern verlieren eher von ihrer angesammelten Masse.

In diesem neuen Verbande ist die Bewegungsmöglichkeit und Bewegungsfreiheit gegenüber einem strengen, reinen Faltenstaat wesentlich gesteigert.

Bei den großen Faltendecken tritt die Umformung vor allem an ihren Stirnen deutlich hervor.

Es handelt sich hier jedoch zumeist nur um Einzelformen. Infolgedessen sind alle Umformungen ausgeschlossen, die nur in geselligen Faltenverbänden möglich sind.

Die großen Faltenstirnen liegen häufig einsam auf fremdem Untergrund, von dem sie durch ausgedehnte Bahnflächen scharf getrennt sind.

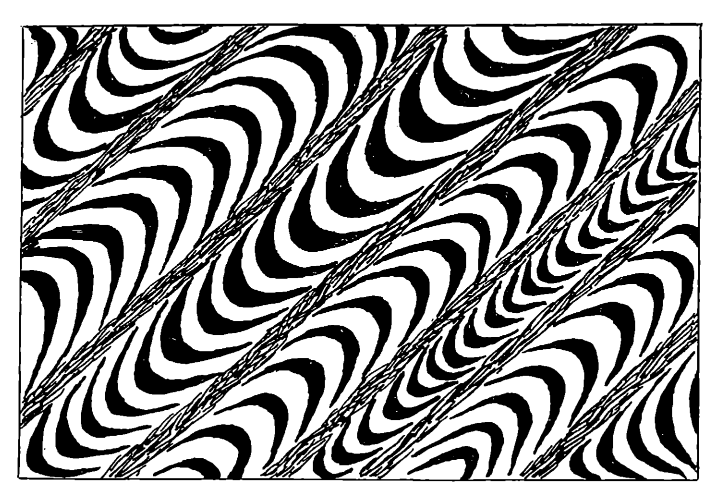


Fig. 2. Zerlegung eines stark einseitig übertriebenen Faltenplanes durch Zerreißung und reihenweise Zusammenschleifung der Mittelschenkel.

Betrachtet man nun gut erhaltene Stirnfalten (Fig. 3), so erkennt man unschwer, daß dieselben in vielen Fällen enorm übertriebene, einseitige Faltformen vorstellen. Hier gewinnt nun sogleich die Frage Bedeutung, ob diese Formen lebendige Gebilde der Überfaltung oder tot verschleppte Modelle sind?

Diese Übertreibungen äußern sich vor allem in starken Verdickungen der Bugstellen, in Verdünnungen bis Ausquetschungen der Mittelschenkel sowie in dem oft reichlichen Auftreten von Zerrungsklüften.

Die nähere Untersuchung ergibt weiter, daß alle diese gerade aufgezählten Umformungen mit der Gestalt der Stirnfalten in engster Verbindung stehen. Es fallen die Verdickungen mit den Bugstellen, die Ausdünnungen mit den Mittelschenkeln zusammen und auch die Zerrklüfte liegen in den Dehnungsbereichen.

Wir haben es also bei derartigen Stirnfalten mit einer weitgehenden Anpassung des Schichtinhaltes an die gegebene Faltenform zu tun.

Wenn man bedenkt, daß die Stirnfalten von Decken gleichsam die letzten Haltestellen auf langen Entwicklungswegen bedeuten, so ist dieser Befund merkwürdig genug. Stellt man sich vor, daß die Bildung einer großen liegenden Falte am Scheitel mit einem Durchrollen des hangenden Schenkels in den liegenden vor sich geht, so ist ein so hohes Maß von Anpassung an eine so vorübergehende Einstellung ziemlich unverständlich.

Zunächst ist zu bedenken, daß man eine so weitgehende Anpassung des Schichtinhaltes an die Biegeform wohl nur mit noch ungefalteten Schichten ausführen kann. Sind die Schichten, welche in die vorliegende neue Biegeform übergeleitet werden sollen, bereits verbogen oder irgendwie deformiert, so gelingt eine gute Anpassung an die Biegeform nicht mehr.

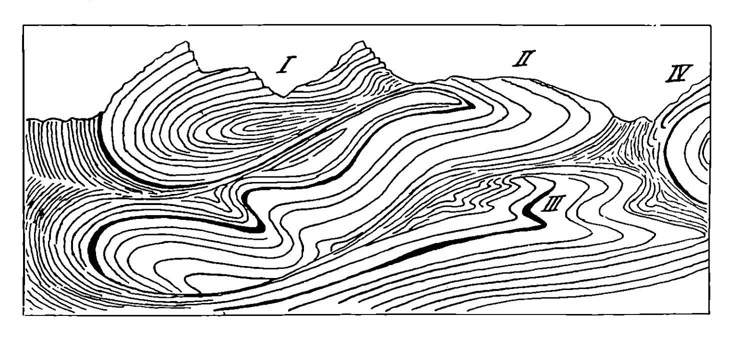


Fig. 3.

I = Drusbergdecke. II = Rädertendecke. III = Säntisdecke. IV = Toralpdecke. Nach J. Oberholzer.

Beispiel von glatten, schwungvollen Stirnfalten, die aus vorher unbearbeiteten frischen Schichten gebildet wurden.

Sind die Schichten des hangenden Schenkels z. B. bereits vorgefaltet, so ist es unmöglich, eine entsprechend volle Anpassung zu erreichen.

Dasselbe ist der Fall, wenn die zur neuen Biegung kommenden Schichten bereits in viele Schollen zerbrochen sind. Fig. 4.

Auch frühere Zerscherung oder Mylonitbildung ist der glatten Ausführung einer komplizierten Faltform entscheidend hinderlich.

Wir erkennen, daß jede tektonische Vorbehandlung, sei es durch Faltung, Brechung, Scherung, Zertrümmerung der glatten Ausführung von neuen Biegeformen hinderlich ist.

Mit derartig deformiertem Schichtmaterial durchgeführte neue Verbiegungen werden rauh, eckig, zackig und unregelmäßig, auf keinen Fall jedoch einheitlich glatt und schwungvoll.

Wir folgern daraus, daß die Ausführung einer vollendeten Biegeform nur mit frischem, noch nicht deformiertem Schichtmateriale gut gelingen kann.

Dabei sind hier unter Deformationen in erster Linie Faltungen, Zerbrechungen, Zerscherungen . . verstanden, nicht aber regionale Umformungen, wie etwa die Verwandlung von Lehm-, Sand-, Schotterschichten in kristalline Schiefer.

Eine derartige Umwandlung kann sogar in vielen Fällen die Biegefähigkeit des Schichtmateriales beträchtlich erhöhen. Ebenso wird die Biegsamkeit durch größere Feuchtigkeit und Erwärmung wesentlich gesteigert.

Auch die Steigerung des Druckes kann die Biegsamkeit günstig beeinflussen.

Bei unserer Betrachtung spielt aber der letzte Umstand, die Steigerung des Druckes durch Überlastung, insoferne wenig Rolle, als es sich hier ja nur um die Stirnen von freiliegenden Deckfalten handelt.

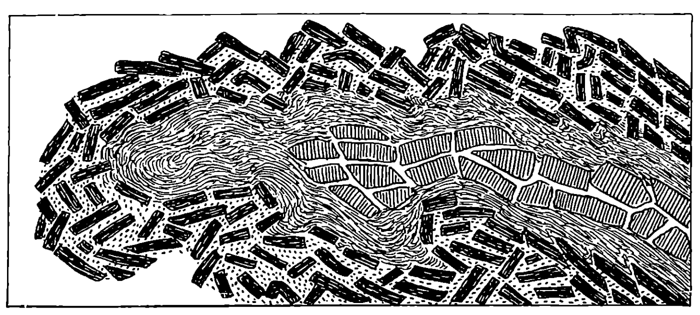


Fig. 4. Schema einer rauhen Stirnfalte, die aus vorher schon tektonisch zerbrochenen und verschieferten Schichten gebildet wurde.

Die bisherigen Überlegungen haben uns gezeigt, daß einerseits stark einseitig übertriebene Faltformen bald die Fähigkeit zu gleichartigem Wachstum verlieren, anderseits solche Formen nur aus frischem, tektonisch unverbrauchtem Schichtmaterial in glatter Vollendung herstellbar sind. Die Bildung derartiger Faltformen ist also innerhalb eines großen Bewegungsspieles nicht nur zeitlich eng begrenzt, sondern sie stellt auch an das verwendbare Baumaterial besonders hohe Anforderungen.

Die erste Wirkung des Totlaufens einer übertriebenen Faltform besteht beim Fortgang der Faltenbildung in deren Ausschaltung. Diese kann in mehrfacher Weise vollzogen werden.

Die häufigste Form der Ausschaltung toter Falten ist wohl die Bildung von ähnlichen neuen Falten.

Diese Form der Ausschaltung ist besonders bei gut faltbaren Schichten sehr gebräuchlich und kann zu endlosen Wiederholungen ähnlicher Faltformen führen.

Statt der Bildung einzelner, wesentlich größerer Falten werden immer wieder an Stelle der toten Gebilde neue ähnliche angefügt.

Es beweist uns auch diese vielfache Anhäufung von kleinen Falten, daß die großen Falten nicht aus einem Zusammenwachsen

von vielen kleinen entstehen, sondern von Anfang an eine verschiedene Bauanlage besitzen.

Eine andere Form der Ausschaltung haben wir bereits erwähnt. Sie besteht darin, daß die verdünnten Mittelschenkel zerrissen und zu größeren Gleitgeflechten verbunden werden, welche die isolierten verdickten Bugstellen umfließen.

Für die großen übertriebenen Stirnfalten kommen solche Ausschaltungen aber nicht in Betracht.

Laufen sich solche oft mächtige Gebilde tot, so besteht die Ausschaltung beim weiteren Vortrieb in der Ausbildung einer Gleitbahn, auf welcher die tote Falte vorwärts getragen wird.

Entlang dieser Gleit- oder Schubfläche erleidet nun die tote Stirnfalte je nach den Umständen eine geringere oder größere Abschleifung.

Für das Ausmaß einer derartigen Abschleifung kommt zunächst die Beschaffenheit der Stirnfalte und der Bewegungsfläche in Betracht.

Die Rauheit oder Glätte, die Gesteinshärte oder Weichheit, die Neigungsverhältnisse, die Durchfeuchtung oder Trockenheit nehmen auf die Abschleifung der toten Falte vor allem Einfluß.

Des weiteren kommt die Neigung der Bahnfläche sehr in Betracht. Aufsteigende oder absteigende Bahnstrecken, dann vor allem der Wechsel der Neigungsverhältnisse sind für Steigerung oder Verminderung der Reibung wichtig.

Beim Wechsel der Steigung ist ein wesentlicher Unterschied, ob derselbe schroff oder allmählich vor sich geht. Es ist auch von Bedeutung, ob die tote Falte in gerader oder in gekrümmter Richtung vorwärts geschoben wird. Jedenfalls zeigen manche Stirnfalten ein sehr großes Maß von Abschleifung, das unter Umständen die Hälfte der Masse der toten Falte erreichen kann.

Wir fragen uns nun, wo diese der Reibung zum Opfer gefallenen Massen hingekommen sind?

Sehr vieles davon dürfte wohl von der eingreifenden Erosion bereits abgetragen und weggeführt sein, da die meisten großen Faltenbewegungen ja zeitlich schon weit zurückliegen.

Für einen anderen, ziemlich beträchtlichen Anteil hat die Erkenntnis der „Reliefüberschiebungen“ manche Einsicht eröffnet.

An zahlreichen Stellen der Alpen finden sich kleinere und größere Massen, meist in ganz wirren Verbänden, vielfach sogar in der Form von „Gesteinsteigen“, von denen wir heute wissen, daß sie Reibungsmaterial von Überschiebungen vorstellen, das an geschützten Stellen in Furchen und auf Hochflächen zurückgeblieben ist.

Aus dem Maß und der Form der Abschleifung der toten Falten kann man mit der nötigen Vorsicht auf die Wegstrecken ihrer Verschiebung zurückschließen.

Im allgemeinen wird die Abschleifung um so größer sein, je länger der unter Reibung zurückgelegte Weg ist. Dabei können aber

vielerei Ausnahmen durch besondere, rein lokale Steigerungen der Reibung eintreten. Da diese Steigerungen oder Verminderungen der Reibung uns größtenteils unbekannt sind, können die Einschätzungen der verbrauchten Weglängen nur mit größter Vorsicht vollzogen werden.

Immerhin besteht aber zwischen dem Ausmaß der Reibung und der dafür verwendeten Wegstrecke ein bestimmtes Verhältnis, welches durch den Fortschritt der tektonischen Forschungen immer genauer bekannt werden dürfte. Wir kehren nun zur weiteren Untersuchung des Problems der Verwendung von geeignetem Schichtmaterial zur Erzeugung von schwungvollen Faltformen zurück.

Unsere Überlegungen haben uns bereits zu der Einsicht geführt, daß bei Verwendung von schärfer deformierten Schichten keine glatte Ausführung schwungvoller Faltformen mehr möglich ist.

Wir können daher aus der Vorlage derartiger Faltformen schließen, daß dieselben aus frischen, noch unbearbeiteten Schichten entstanden sind.

Dieser Schluß ist für viele tektonische Forschungen von großer Bedeutung.

Wenn wir z. B. an der Front einer Schub- oder Gleitdecke eine schwungvolle Stirnfalte treffen, so könnnen wir schließen, daß das Schichtmaterial, aus dem diese Falte gebildet wurde, sich noch im wesentlichen in ungestörtem Zustande befand. Ein solcher ungestörter Zustand einer Schichtfolge ist im allgemeinen am sichersten im ursprünglichen Ablagerungsbereiche zu erwarten.

Nur dort stellen sich weithin noch ungefaltete Schichten ein, wenn man von gelegentlichen untermeerischen Gleitungen absieht.

Eine Übertragung von ungefalteten Schichten aus ihren Ablagerungsräumen kann ohne stärkere Bearbeitung wohl nur mit Hilfe von Schub- oder Gleitmassen geschehen. Durch faltenden Schub ist jedoch ein ungestörter Transport ausgeschlossen.

Wir stehen also vor folgenden Möglichkeiten. Entweder ist unsere Stirnfalte noch im Ablagerungsraume gebildet und dann als Totfalte weiter verschleppt oder das Schichtmaterial ist in ungestörtem Zustand als Schub- oder Gleitmasse hergeliefert worden, wobei die Stirnfalte erst als eine letzte Einrollung geformt wurde.

Zwischen diesen beiden sehr verschiedenen Möglichkeiten kann in erster Linie das Maß der Abschleifung entscheiden, welches im ersten Falle wohl erheblich größer als im zweiten sein dürfte.

Ob die Stirnfalte nun erst an ihrer heutigen Lagerstätte als Einrollung gebildet oder ob sie im fernen Ablagerungsraum entstanden war und mit Schub oder Gleitung herbeigeliefert wurde, keinesfalls ist sie ein Gebilde einer gewaltigen Ausquetschung eines ehemaligen Mulden- oder Sattelgebietes.

Durch eine derartige Ausquetschung würde das betroffene Schichtmaterial so tiefgreifend deformiert, daß dasselbe zur Ausführung einer schwungvollen Stirnfaltung ganz unbrauchbar wäre.

Die Spuren einer so gewaltsamen Ausquetschung bleiben bei Sedimentgesteinen überhaupt unverwüstlich, bei Eruptivgestein und kristallinen Schiefern könnten sie erst durch Aufschmelzungen und Umkristallisationen überwunden werden.

Es würde also selbst mit Aufwendung von so außerordentlichen Mitteln kaum gelingen, die Spuren einer so gewaltigen Ausquetschungs-Deformation wieder soweit zu verwischen, daß die Schichten ihre ursprüngliche Beschaffenheit zurückerhielten.

Demgegenüber bleibt daher die Meinung, daß bei der Gebirgsbildung überhaupt keine derartigen Ausquetschungen stattgefunden haben, vielmals wahrscheinlicher.
